心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 8, 1404–1416
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01404

注意引导和认知加工：眼动榜样样例的教学作用*

谢和平 彭 霁 周宗奎

(青少年网络心理与行为教育部重点实验室；华中师范大学心理学院，武汉 430079)

摘 要 认知如何影响眼动一直以来得到研究者高度重视，而近年来研究者开始通过眼动榜样样例反过来直接考察眼动如何影响认知。作为一种新颖的教学样例，眼动榜样样例能够有效引导注意，即促进信息的选择、组织和整合加工，并提高眼动轨迹一致性，但并没有稳定地促进教学效果。研究者从信息缩减假说、多媒体学习认知理论、认知学徒制理论等视角进行了积极的理论预期和解释。未来研究需从边界条件、作用机制、眼动轨迹预训练、专长发展、合作学习及神经基础等角度进一步考察眼动榜样样例的教学作用。

关键词 眼动榜样样例；注意引导；认知加工；教学

分类号 B849:G44

Guiding attention guides thought.

——Elizabeth R. Grant, Michael J. Spivey

1 引言

过去 40 多年里，研究者采用眼动技术考察了人类的认知加工到底如何影响其眼动(Rayner, 1998, 2009)。眼动行为通常被认为是潜在认知活动的反映(Vivianni, 1990)，即认知加工能影响眼动模式。然而，近年来研究者开始反过来关注眼动如何影响认知，发现特定的眼动行为能够引导认知活动(Donovan, Manning, & Crawford, 2008; Donovan, Manning, Phillips, Higham, & Crawford, 2005; Grant & Spivey, 2003; Thomas & Lleras, 2007)。即眼动本身也能影响认知加工。教学领域有关眼动榜样样例的实证研究为此提供了直接依据。

眼动榜样样例(eye movement modeling examples, EMME)是一种通过眼动仪等设备即时记录某领域的专家或高经验者(model)在执行某项知觉任务过程中的眼动轨迹以及相应的言语解释，并将其叠加于视觉材料中一齐回放给新手或低经验学习者的视频教学样例(Jarodzka et al., 2012)。研究者对眼动榜样样例教学作用的广泛关注一定程度上受到 Grant 和 Spivey (2003)关于解决邓克尔辐射问题(Duncker's radiation problem)的眼动研究的启发。实验 1 中，他们以图片形式向被试呈现辐射问题并比较了问题解决成功者和失败者的眼动轨迹，发现前者比后者花费更长时间注视图片中的皮肤区域，说明问题解决过程中的认知活动引导了注意，该区域则被认为是解决邓克尔辐射问题时需要注视的关键区域。基于此，他们在实验 2 中将该关键区域进行闪烁突显后再呈现给其他被试，发现被试的问题解决成功率显著提高，这表明基于问题解决成功者的眼动轨迹对材料进行处理后反过来又促进了其他学习者的认知加工。

Grant 和 Spivey (2003)主要是通过间接地加入线索(cueing)的方式(即突显关键区域)来影响视觉注意及随后的认知加工(van Gog, Jarodzka, Scheiter, Gerjets, & Paas, 2009)。随着眼动及图形图像技术的发展，近期研究者开始逐渐重视直接呈现专家在解决问题过程中的眼动轨迹的教学作用(Gegenfurtner, Lehtinen, Jarodzka, & Säljö, 2017; Jarodzka et al., 2012; Jarodzka, van Gog, Dorr, Scheiter, & Gerjets, 2013; van Gog et al., 2009; van Marlen, van Wermeskerken, Jarodzka, & van Gog, 2016)。例如，将一名儿科专家诊断婴儿癫痫发作类型时的眼动轨迹(Jarodzka et al., 2012)或将一名

收稿日期：2017-09-15
* 国家社科基金重大项目(11&ZD151)和华中师范大学中央高校基本科研业务费重大培育项目(CCNU14Z02004)资助。
通信作者：周宗奎, E-mail: zhouzk@mail.ccnu.edu.cn

海洋动物学专家讲授不同鱼类运动模式时的眼动轨迹(Jarodzka et al., 2013)以及相应任务过程中的口头描述活动记录下来，然后作为一种特殊的教学材料呈现给学习者，从而直接考察专家眼动对注意引导和认知加工效果的影响。这种得到学习者青睐(Nalanagula, Greenstein, & Gramopadhye, 2006; Sadasivan, Greenstein, Gramopadhye, & Duchowski, 2005)的特殊教学材料便被称为眼动榜样样例。本文主要介绍了眼动榜样样例的结构、实验制作方法及原因，综述了近些年关于眼动榜样样例对注意引导和认知加工效果(教学效果)影响的实证研究，并探讨了眼动榜样样例的理论基础，以期为眼动榜样样例的教学价值研究提供一定的参考。

2　眼动榜样样例的结构及制作方法

眼动榜样样例主要由三个部分组成：(1)需要学习的视觉材料，即样例本身；(2)榜样外显化的认知过程，即专家在完成任务过程中的言语解释；(3)榜样外显化的知觉过程，即专家在任务过程中的眼动轨迹。如图 1 为关于青蛙过河任务的眼动榜样样例简要示意图(类似样例，参见：Gegenfurtner, Lehtinen, et al., 2017; van Marlen et al., 2016)，该样例中的青蛙过河问题解决视觉材料是学习者需要学习的内容；专家解决该问题时的眼动轨迹反映专家的知觉加工，旨在引导学习者在时间空间上合理分配注意力；专家同步解释如何解决该问题反映了专家的认知加工，旨在帮助学习者习得问题解决的认知技能。

眼动榜样样例的制作方法与上述三个组成部分密切相关。首先，事先准备好视觉学习材料并置入眼动程序中。其次，邀请一位相关领域的专家或(经过刻意培训的)高经验者(最好具有教学经验)录制样例。正式录制前需向专家做出一定说明，例如：可要求专家想象接下来自己会给新手学习者讲授如何完成某一任务(类似于教师授课)，以尽量保证样例能起到教学作用；为保证样例录制质量及效率，可提前允许专家仔细阅览学习材料并考虑好如何对该任务进行言语描述(Jarodzka et al., 2012, 2013)。做好准备工作后，接着开始通过眼动仪进行样例录制，记录专家在完成任务过程中的动态眼动轨迹，并采用配套的录音设备同步录制专家出声思维式的言语描述。录制完毕后，设置眼动参数并通过眼动仪中的回放功能创建和导出样例视频。基本的眼动参数设置包括：对注视点进行参数定义，选择注视点的形状及颜色等。

制作眼动榜样样例可能出于如下考虑。以往样例学习(learning from examples)的研究表明，样例是早期技能和知识习得的有效辅助材料(Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998)。而样例的呈现方式至少有以下两种：一种是向学习者呈现问题解决的

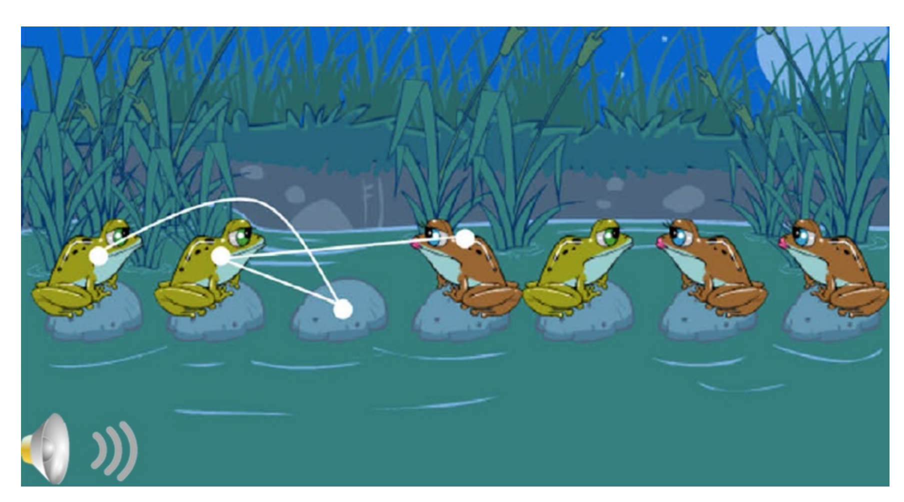


图 1　青蛙过河任务眼动榜样样例模拟示意图

注：白色圆点及线条代表专家眼动轨迹(其中白色圆点为注视点位置，圆点可随注视时间的增长而变大，白色线条为扫视路径)，左下角声音图标代表专家的言语解释(仅供示例，原文无此图标)。

(资料来源：van Gog et al., 2009)

原理和步骤等(Atkinson et al., 2000)，属于传统样例(worked-out examples)；另一种则是直接让学习者观察专家执行某一任务(Bandura, 1977; Collins, Brown, & Newman, 1989)，即榜样样例(modeling examples)。对于任务的认知方面，了解专家为何以及如何选择某些解决步骤对学习者而言非常重要；对于任务的知觉方面，观看专家如何注视刺激对学习者而言也非常重要(Jarodzka et al., 2012)。社会学习理论认为，如果能够注意并正确感知榜样行为的相关特征或信息，那么学习者就能习得相应的内容，否则学习者可能会因为错失这些相关的视觉特征而不能理解样例(Bandura, 1977)。此外，学习者(特别是新手学习者)在解决复杂的视觉任务时，往往还会经历较大的困难。因此，在样例学习中需要采用一定的教学设计方式来引导学习者注意专家所关注的那些视觉特征。有研究者考虑采用线索来引导注意(De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2007)，例如在样例中加入颜色(Jamet, 2014)或箭头(Lin & Atkinson, 2011)等来突显重要信息。这种间接的方法虽简便易行，可许多研究并没有发现线索对学习效果的积极作用(综述见：王福兴，段朝辉，周宗奎, 2013; De Koning, Tabbers, Rikers, & Paas, 2009)。可能的原因是线索的设置主要是基于专家(或教学设计者)主观上认为学习者应该注视哪些视觉信息，但他们不一定清楚哪些信息对新手而言是最重要的，因为他们往往难以正确评价新手的知识状态(Hinds, 1999)，也不能很好地即时报告任务中注视了哪些内容(Chi, 2006)。而直接向学习者呈现专家的眼动轨迹以及任务过程中的言语解释可能较好地解决该问题。如上所述，眼动榜样样例可以将专家问题解决的知觉过程和认知过程外显化，学习者能够清楚地了解问题解决的步骤和注视方式(何时观看何处，观看顺序，且观看多久) (van Merriënboer, 2013)，这些理论上被认为有助于促进注意引导和认知加工效果(De Koning & Jarodzka, 2017; Krupinski et al., 2006; Kundel, Nodine, & Krupinski, 1990; Nalanagula et al., 2006; Sadasivan et al., 2005; Velichkovsky, 1995)。

3 眼动榜样样例与注意引导

作为样例材料中的一种突显刺激，专家的眼动轨迹理论上具有注意引导的作用。从表 1 中所汇总的研究结果来看，绝大部分实验都证实眼动榜样样例在注意引导(包含信息选择、信息组织、图文整合加工以及眼动轨迹一致性等)上的积极影响，具体表现为：缩短首次注视到任务相关区域所需的时间，增加对任务相关区域的注视时间、注视次数，减少对任务无关区域的注视时间、注视次数，增加图文之间的转换次数以及提高眼动轨迹的一致性等。

3.1 信息选择加工

眼动榜样样例在信息选择上的加工优势反映在对任务相关信息的搜索上，这较早得到了 Jarodzka, Scheiter, Gerjets, van Gog 和 Dorr (2010)研究结果的支持。在他们的实验中，被试被要求观看带有或者没有专家眼动轨迹的鱼类运动教学视频，测验过程中发现眼动榜样样例减少了学习者首次注视到任务相关区域的时间，即学习者能够更快地搜索到任务相关信息。在随后采用相同材料的实验中，总体上他们也发现了类似的结果(Jarodzka et al., 2013)。另一项任务为婴儿癫痫诊断的实验中，Jarodzka 等(2012)向被试呈现了注视点形状不同的眼动榜样样例，结果表明当专家眼动注视点以聚光灯形式呈现时，眼动榜样样例组首次注视到任务相关区域所需的时间比控制组更短。后来其他研究者同样证实眼动榜样样例的视觉搜索优势(van Marlen et al., 2016, 实验 2)。因此，眼动榜样样例能够有效地为学生进行信息导航(Salmerón, Naumann, García, & Fajardo, 2017)，降低视觉搜索的潜伏期，表明眼动榜样样例可能具有信息选择功能。

3.2 信息组织加工

眼动榜样样例在信息组织上的加工优势反映在对任务相关信息的注视上，这较早得到了 Sadasivan 等(2005)研究结果的支持。在他们的研究中，专家的眼动轨迹被作为一种前馈训练(feedforward training)，旨在考察这种方式能否训练新手在虚拟现实环境中模拟检查飞机货仓，发现专家眼动轨迹的前馈训练增加了新手对重要信息的平均注视时间、注视次数及注视点簇数。即向新手呈现专家的眼动轨迹有助于新手学习者模仿专家的知觉加工方式，对重要信息进行更多、更长的注视。Jarodzka 研究团队的系列实验发现眼动榜样样例能够增加测验中学习者对任务相关信息的总注视时间(Jarodzka et al., 2010, 2012, 2013)。Seppänen

表 1　眼动榜样样例研究

研究	榜样	样例	眼动仪	注意引导指标	教学效果指标
Gegenfurtner, Lehtinen, et al., 2017	医学专家	人体解剖及功能	Tobii T60XL	任务相关区域注视次数* 任务非相关区域注视次数# 任务相关区域注视时间* 任务非相关区域注视时间#	正确率* 敏感性* 特异性
Jarodzka et al., 2012	儿科专家	婴儿癫痫发作	SMI High Speed	榜样与被试注视点间的欧氏距离# 测验过程中首次到达任务相关区域所需时间# 测验过程中任务相关区域停留时间#	解释绩效#
Jarodzka et al., 2010	海洋动物学教授	鱼类运动模式	Tobii 1750	首次到达任务相关区域所需时间* 任务相关区域停留时间*	正确报告与运动有关的身体部分的数量 正确描述运动方式的数量*
Jarodzka et al., 2013	海洋动物学教授	鱼类运动模式	Tobii 1750	学习过程中的扫视路径一致性* 测验过程中首次到达任务相关区域所需时间* 测验过程中任务相关区域总停留时间* 测验过程中的扫视路径一致性	解释身体哪部分产生动力* 解释产生动力的身体部分如何运动
Litchfield et al., 2010, 实验 1	放射科医师	胸部 X 光片	Tobii X50	/	诊断绩效* 总决策时间△
Litchfield et al., 2010, 实验 2	放射科医师	胸部 X 光片	Tobii X50	/	诊断绩效* 总决策时间
Litchfield et al., 2010, 实验 3	放射科医师	胸部 X 光片	Tobii X50	/	诊断绩效* 总决策时间
Mason et al., 2015	研究生	水循环	Tobii T120	首次和再次阅读时分别对文本和图片的注视时间 从文转换到图以及从图转换到文之后的注视时间# 从文转换到图以及从图转换到文之后的平均注视时间	文字回忆* 图片回忆* 知识迁移* 事实性知识
Mason et al., 2016	研究生	水循环	Tobii T120	再次阅读时从文到图的转换次数* 再次阅读时从图到文的转换次数* 从文转换到图之后的注视时间* 从图转换到文之后的注视时间*	文字回忆 知识迁移* 事实性知识
Mason et al., 2017	研究生	水循环	Tobii T120	首次和再次阅读时对文本的注视时间 首次和再次阅读时对图片的注视时间# 再次阅读时从文到图和从图到文的转换次数# 从文转换到图以及从图转换到文之后的注视时间#	文字回忆* 知识迁移# 事实性知识#
Nalanagula et al., 2006	专家检查员	印刷电路板	ISCAN	/	正确检测到的故障比例*
Sadasivan et al., 2005	专家检查员	飞机货舱虚拟现实模型	Virtual Research 和 ISCAN	注视次数* 注视点簇数* 平均注视时间*	检测到的故障数量* 任务时间△
Scheiter et al., 2018	经培训的研究助手	细胞有丝分裂	SMI RED 250	文本注视时间 图片注视时间* 图文转化次数*	自由回忆任务△ 多项选择任务 强迫选择任务#

续表 1

研究	榜样	样例	眼动仪	注意引导指标	教学效果指标
Seppänen & Gegenfurtner, 2012	教师	计算机断层扫描	/	任务相关区域注视次数* 任务无关区域注视次数*	正确率* 敏感性*
Stein & Brennan, 2004	专业程序员	Java 程序	ISCAN RK-726PCI	/	找到故障的时间*
van Gog et al., 2009	大量练习青蛙过河任务的专家	青蛙过河	Tobii 1750	/	绩效测验△
van Marlen et al., 2016, 实验 1	/	简单几何问题	SMI RED250	/	同构问题 迁移问题 同构问题反应时间 迁移问题反应时间*
van Marlen et al., 2016, 实验 2	/	复杂几何问题	SMI RED250	注视次数比例 注视时间* 首次到达时间*	同构问题 迁移问题 同构问题反应时间 迁移问题反应时间△
van Noord, 2016	教师	电路问题	SMI RED250	注视比例* 注视时间* 首次到达时间*	基本问题 迁移问题△
赵欢欢, 2013, 研究 2	研究一中某条件下得分最高的学习者	风的形成原理	Tobii T120	图片区总注视时间及总注视点个数* 文字区总注视时间及总注视点个数△ 图片区平均注视时间△ 文字区平均注视时间*	保持测验# 迁移测验*

注：/表示没有提供该信息；*代表眼动榜样样例在该因变量指标上具有积极影响；#代表部分情况下眼动榜样样例在该因变量指标上具有积极影响；△代表眼动榜样样例在该因变量指标上有消极影响；若无标记，代表眼动榜样样例在该因变量指标上没有影响。

和 Gegenfurtner (2012)将一名专业教师进行 CT 诊断时的眼动榜样样例呈现给学生，发现学生对任务相关区域的注视次数增加，对任务无关区域的注视次数减少。其它研究也发现了眼动榜样样例在任务相关信息的注视时间、注视次数等上的优势(Gegenfurtner, Lehtinen, et al., 2017; van Marlen et al., 2016，实验 2)。更多的注视时间、注视次数等表明学习者可能对信息进行了更为深入的组织加工，因此眼动榜样样例可能具有信息组织功能。

3.3 图文整合加工

眼动榜样样例在图文整合上的加工优势反映在图文信息的转换加工上，这得到了近期研究结果的直接支持(Mason, Pluchino, & Tornatora, 2015, 2016; Scheiter, Schubert, & Schüler, 2018)。Mason 等(2015)在学习之前先向实验组被试呈现水循环材料的眼动榜样样例以训练其图文整合加工策略，接着要求被试正式学习食物链相关的科学材料，发现相比控制组(无眼动榜样样例)，实验组被试在观看了文字关键区域以及文字非关键区域后都接着会更长地去注视图片关键区域，在观看了文字非关键区域后也会再去更长地注视图片非关键区域。研究者推测眼动榜样样例促使学习者花费更多时间从图片中寻找与文字相对应的信息(Mason et al., 2015)，即更多地进行图文整合。Mason 等(2016)随后一项以大气温室效应为学习材料(眼动榜样样例同前)的类似研究不仅进一步证实了以上结果，同时还发现实验组被试再次阅读时从文到图以及从图到文之间的转换次数比控制组更多。因此，眼动榜样样例促进了图文材料间的整合加工，可能具有图文整合功能。

3.4 眼动轨迹一致性

呈现眼动榜样样例最为直接的目的也许在于期望学习者与专家之间或者学习者与学习者之间的眼动轨迹尽量一致，因此眼动轨迹一致性受到部分研究者关注(Jarodzka et al., 2012, 2013)。Jarodzka 等(2012)计算了被试的注视点与专家的注视点之间的欧氏距离，发现当专家眼动注视点以聚光灯形式呈现时，眼动榜样样例组的欧氏距

离要比控制组更短，说明聚光灯形式的眼动榜样样例使得学习者与专家之间的眼动轨迹更为一致。随后的研究中，Jarodzka 等(2013)计算了各组内被试之间的扫视路径相似性(scanpath similarity)，结果发现眼动榜样样例组被试之间的相似性比控制组更高，表明眼动榜样样例使得学习者与学习者之间的眼动轨迹更为一致。因此，眼动榜样样例成功引导了学习者的注意力。

总结来看，眼动榜样样例能够有效引导注意(van der Gijp et al., 2017)，表现为促进信息的选择、组织与整合，并提高眼动轨迹的一致性。但需要指出的是，这种方式的注意引导成本过高，既需要相应领域的专家或高经验者参与样例的制作，还需要借助专业的眼动设备进行录制。相比而言，线索(如在材料中加入箭头、手势等)因其简便易行而被教学设计者所青睐，毕竟线索在注意引导方面同样具有良好的选择、组织和整合的功能(综述或元分析见：王福兴，段朝辉等, 2013；谢和平，王福兴，周宗奎，吴鹏, 2016; De Koning et al., 2009)。因此，如何在保证眼动榜样样例注意引导作用的前提下降低其制作成本可能是研究者需要进一步思考的内容。

4　眼动榜样样例与教学效果

相比而言，研究者更为关心的一个问题是：将专家的知觉和认知过程外显化并嵌入到样例中，其教学效果到底如何？从表 1 可以看出，研究结果并不像注意引导那样一致。综述先前研究发现，研究者主要从保持效果、迁移效果和行为反应时间等因变量指标上考察了眼动榜样样例的教学作用，仅部分研究发现眼动榜样样例的积极作用(提高保持、迁移效果，降低行为反应时间)。

4.1　保持效果

眼动榜样样例理论上被预期能够促进知识的保持，部分研究支持了这一预期(Jarodzka et al., 2010; Mason, Scheiter, & Tornatora, 2017; Nalanagula et al., 2006; Sadasivan et al., 2005; Seppänen & Gegenfurtner, 2012)。比如：Litchfield, Ball, Donovan, Manning 和 Crawford (2010)要求被试诊断胸部 X 光片中的肺结节，实验组被试在观看了专家眼动榜样样例之后接着又向其呈现相同的图片进行测试，发现他们的诊断表现好于其他组。Mason 等(2015)发现相比无眼动榜样样例组，观看眼动榜样样例提高了学习者对文字信息以及图片信息的回忆成绩。Gegenfurtner, Lehtinen 等(2017)证实新手甚至专家在观看了眼动榜样样例之后，他们在保持任务上对病人案例的诊断准确性和敏感性相比基线水平都得到了显著提高。然而，另一些研究并没有发现眼动榜样样例在保持效果上的积极作用。van Marlen 等(2016)发现无论是学习简单的几何学问题(实验 1)还是复杂的几何学问题(实验 2)，眼动榜样样例都没有像预期的那样促进知识的保持。Mason 等(2016)也没有发现眼动榜样样例对文字信息回忆成绩的促进作用。甚至有研究表明眼动榜样样例阻碍了学习和问题解决(van Gog et al., 2009)。例如：Scheiter 等(2018)研究发现，眼动榜样样例对基础较好的学生没有影响，但不利于基础较差学生的回忆表现。

眼动榜样样例在保持效果上的不一致作用一定程度上可能与任务特征有关(Jarodzka, Holmqvist, & Gruber, 2017)。van Marlen 等(2016)指出过程性任务与非过程性任务有所不同。在过程性任务中，学习者不仅需要认真学习眼动榜样样例(如观看材料中的眼动轨迹)，还需要借助鼠标或键盘点击屏幕中的元素等方式来完成任务(van Gog et al., 2009)。这种交互式动作可能自动吸引学习者视觉注意力，从而干扰了眼动榜样样例在知识保持上的积极作用(van Marlen et al., 2016)。相反，在非过程性任务中，学习者通常只需认真观看材料即可，不需与屏幕中的材料元素进行额外的交互，因此眼动榜样样例在学习效果上的积极作用得以正常发挥。

4.2　迁移效果

眼动榜样样例理论上被预期也能够促进知识的迁移，这同样得到部分研究结果的支持。Jarodzka 等(2012)在被试观看完教学样例之后向他们呈现新的测验材料，发现聚光灯式的眼动榜样样例促进了迁移成绩。Mason 团队的两项研究也都显示眼动榜样样例有利于知识的迁移(Mason et al., 2015, 2016)。然而眼动榜样样例的迁移效果似乎也并不稳定。例如：Jarodzka 等(2013)关于鱼类运动模式的研究发现眼动榜样样例提高了其中一项迁移问题(即：鱼身体哪一部分产生动力?)的成绩，但另一项迁移问题(即：产生动力的这些身体部分是如何运动的?)成绩没有得到提高。Gegenfurtner，Lehtinen 等(2017)发现眼动榜样样

例促进了专家学习者的迁移，并未促进新手学习者的迁移。van Marlen 等(2016)的两项实验均没有发现眼动榜样样例的迁移作用。van Noord (2016)则发现眼动榜样样例阻碍了迁移效果。

眼动榜样样例在迁移效果上的不一致作用一方面可能与任务特征有关(如前所述)，另一方面也可能与学习者对迁移测验项目的熟悉度有关。有研究表明，学习者能将习得的知识从熟悉的项目迁移到半熟悉的项目上，但不能迁移到不太熟悉的项目上(Gegenfurtner & Seppänen, 2013)。以往有关眼动榜样样例的研究在考察其迁移效果时并未考虑学习者对迁移测验项目的熟悉程度，因此不同的研究在迁移测验项目的熟悉度上可能具有较大的异质性，从而影响了眼动榜样样例迁移效果的稳健性。

4.3 反应时间

眼动榜样样例理论上还被预期能够减少问题解决的行为反应时间(van Marlen et al., 2016)。但综述来看，实证研究结果同样不一致。Stein 和 Brennan (2004)要求被试寻找 Java 程序 Bug，发现向被试呈现专家程序员的眼动轨迹能够加快他们找到程序 Bug 的时间。有趣的是，van Marlen 等(2016)仅在实验 1 的迁移问题上证实眼动榜样样例减少了反应时间，而在保持问题上没有发现这种作用，甚至在实验 2 的迁移问题上发现了相反的结果。其他研究者也发现了眼动榜样样例增加了问题解决的反应时间(Litchfield et al., 2010，实验 1; Sadasivan et al., 2005)。

眼动榜样样例在行为反应时间上的不一致作用推测起来可能与速度-准确性权衡有关。当学习者在学习和测验过程中意识到该任务与速度密切相关时(例如：寻找程序 Bug)，学习者在速度与准确性之间可能更倾向于选择前者，因此眼动榜样样例在反应时间上能够发挥积极作用。而当学习者意识到当前任务与准确性更相关时(例如：数学知识的学习)，学习者更倾向于选择准确性，而非速度，从而干扰了眼动榜样样例对反应时间的积极影响。当然，该推测有待后续研究检验。

综合而言，眼动榜样样例与认知加工效果关系的稳健性还有待商榷和考证，不仅表现在保持效果、迁移效果、反应时间等指标自身存在不一致的结果，还表现在这些指标之间的矛盾性上。对此，至少可能需从三个方面来思考或解决该问题。一是考察影响眼动榜样样例教学效果的边界条件(boundary conditions)，即调节变量。目前的研究主要集中在检验眼动榜样样例是否有效上，对于眼动榜样样例何时有效则缺乏足够的探讨。Jarodzka 等(2017)认为眼动榜样样例能否促进任务表现并不是那么重要，更为重要的是分析眼动榜样样例在什么情况下起促进作用。从教学角度讲，学习者特征、教学材料特征以及实验设计特征等都有可能对眼动榜样样例的作用产生重要影响。二是可采用元分析等技术对相关研究的效应量进行合并处理，以检验眼动榜样样例作用的稳健性。三是寻找更为敏感的教学效果指标，例如可尝试采用学习效率指标。以往研究通常将保持效果或迁移效果与反应时间分开进行考察，后续研究可计算单位反应时间内学习者的保持效果(即：保持效率)或迁移效果(即：迁移效率)，从而探讨眼动榜样样例是否在学习效率上存在稳健的积极作用。

5 眼动榜样样例的理论基础

尽管眼动榜样样例的教学作用并不稳定，但研究者从不同的知觉或认知理论角度均对其做出了积极的预期和解释。

5.1 信息缩减假说

信息缩减假说(information-reduction hypothesis)由 Haider 和 Frensch (1999)提出。该假说认为，专家对信息具有选择性的知觉加工优势，即他们能够选择性地加工任务相关信息，忽视任务无关信息，表现为对任务相关区域的注视更多、更长，而对任务无关区域的注视更少、更短。这反映了不同专长水平的学习者拥有不同的视觉搜索策略(van Meeuwen et al., 2014)。比如：Charness, Reingold, Pomplun 和 Stampe (2001)比较了国际象棋专家和新手在视觉搜索任务上的差异，发现专家能够更多地注视任务相关的棋子，忽视任务无关的棋子。目前该假说得到了象棋(Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001)、医学(O'Neill et al., 2001)、艺术(Vogt & Magnussen, 2007)、教学(王福兴，芦咏莉，段朝辉，周宗奎，2013)等多个领域眼动研究以及元分析(Gegenfurtner, Lehtinen, & Säljö, 2011)的支持。

根据信息缩减假说，研究者有理由推测眼动榜样样例能够有效地引导学习者注意任务相关信

息，忽视任务无关信息(van Marlen et al., 2016)。眼动榜样样例通常包含了某领域专家的眼动轨迹，而一方面学习者(特别是新手学习者)对样例中的眼动轨迹这种突显刺激比较敏感，另一方面在实验中学习者通常被告知样例中的眼动轨迹为某专家的眼动轨迹，因此学习者的注意力容易被其吸引(Jarodzka et al., 2012)，并在学习中注视任务相关区域，忽视任务无关区域(Gegenfurtner, Lehtinen, et al., 2017; Seppänen & Gegenfurtner, 2012)，而只有注视任务相关信息才有助于学习和问题解决(Litchfield et al., 2010，实验 2 和 3)。总之，眼动榜样样例可能通过促使学习者模拟专家的选择性加工过程而提高教学效果。

5.2　多媒体学习认知理论

多媒体学习认知理论(cognitive theory of multimedia learning, CTML)由美国心理学家 Mayer (2009)提出。该理论提出了三个基本假设：(1)双通道假设(dual-channel assumption)，即人们分别通过视觉、听觉通道加工视、听材料；(2)容量有限假设(limited-capacity assumption)，即人们在每个通道中单位时间内加工的信息容量是有限的；(3)主动加工假设(active-processing assumption)，即人们能够主动地选择、组织和整合相关信息。而为了缓解认知资源的有限性并实现有意义学习，学习者需要对同一通道或不同通道的信息进行高效的选择、组织和整合加工，建立连贯一致的心理表征。

眼动榜样样例被认为有助于帮助学习者提高信息选择、组织和整合的效率(Gegenfurtner, Lehtinen, et al., 2017)。当呈现眼动榜样样例时，学习者能够迅速追随专家的眼动轨迹选择注视相关信息(Jarodzka et al., 2010, 2012)；之后学习者会投入更多的注视对任务相关信息进行更为深入的组织加工(Gegenfurtner, Lehtinen, et al., 2017; Seppänen & Gegenfurtner, 2012)，分别建立图、文相关的心理模型；随后，学习者可以将不同的心理模型以及先前知识进行整合(Jarodzka et al., 2013; Mason et al., 2015, 2016)，从而建立连贯一致的心理表征，保证了高效的学习。总之，眼动榜样样例可能通过实现高效的信息选择、组织和整合的方式而促进教学。

5.3　认知学徒制理论

认知学徒制理论(cognitive apprenticeship)由 Collins 等(1989)提出(中文综述见：陈家刚, 2010)。该理论认为，学习环境的设计应考虑 4 个维度：内容(content)、方法(method)、顺序(sequence)和社会性(sociology)。其中，在内容上应注重启发式策略(heuristic strategies)、控制策略(control strategies)和学习策略(learning strategies)等的习得。启发式策略是专家为成功完成任务通常所采用的方法或技巧，例如医学专家从头到脚系统地观察正电子发射断层扫描图。控制策略是专家用于监控、诊断、补救任务完成过程的方法，例如评估如何开始或采用何种有效的启发式策略完成任务。学习策略是用于学习新概念、事实或程序的方法，例如遇到困难时寻求他人帮助。在方法上，该理论重视榜样的示范作用，鼓励采用一些特别的技术将专家的思维过程可视化或外显化(Collins, Brown, & Holum, 1991)，并认为这有利于学习者知觉到和习得专家的问题解决策略。

根据该理论，眼动榜样样例是一种有效的教学设计方法。眼动榜样样例借助眼动技术将专家在任务过程中的知觉和认知过程外显化，学习者可以直接观察到专家的思维过程，并学习到专家在任务中的问题解决策略。比如：Gegenfurtner, Lehtinen 等(2017)对被试在完成测试任务时的出声思维数据进行了编码，分析后发现观看眼动榜样样例使得学习者采用了更多的启发式策略和控制策略。当然，该理论解释目前还缺乏足够的实证研究支持。

对比以上理论可以发现：信息缩减假说强调眼动榜样样例在选择性加工上的优势；多媒体学习认知理论不仅赞同眼动榜样样例促进了信息选择，同时还强调其在信息组织和整合上的优势；认知学徒制理论则重视眼动榜样样例在问题解决策略习得上的作用。无论是哪种理论，都认为眼动榜样样例有利于学习者进行更深入、高效的认知加工，从而进一步提高教学效果。

值得注意的是，眼动榜样样例促进学习或问题解决的内在机制其实并不明确。例如：根据信息缩减假说或多媒体学习认知理论，有效的注意引导(至少部分程度上)是眼动榜样样例提高教学效果的保障，即眼动榜样样例可以通过注意引导来促进教学。Kok 和 Jarodzka (2017)也指出，眼动榜样样例之所以能提高教学效果，是因为它很好地引导了学习者的视觉注意。这说明注意引导在

眼动榜样样例和教学效果之间可能起到了中介的作用。显然，是否存在这种内在的中介机制，目前缺乏数据支持。因此，后续研究可通过中介效应分析等方法考查注意引导和教学效果之间的关系(Scheiter et al., 2018)，从而揭示眼动榜样样例的作用机制。

6 总结与展望

6.1 总结

结合表 1 的相关结果来看，眼动榜样样例确实具有比较稳定的注意引导作用，表现为促进了信息的选择、组织和整合加工，同时还提高了眼动轨迹的一致性。然而在教学效果上，眼动榜样样例的作用受到一定的质疑。虽然 Renkl 和 Scheiter (2017)认为眼动榜样样例通常能够支持学习，特别是基于视觉显示(visual displays, ViDis)的学习，但从表 1 所梳理的实证研究可以看出，无论是保持效果、迁移效果还是反应时间，研究结果均不太同质。尽管如此，我们也不能否认眼动榜样样例可能存在着巨大的作用。针对眼动榜样样例的潜在影响，研究者从信息缩减假说、多媒体学习认知理论、认知学徒制理论等视角进行了积极的预期和解释，并分别强调眼动榜样样例在选择性加工，信息选择、组织与整合，以及问题解决策略习得上的优势。

目前在上述理论的指导下，研究者对眼动榜样样例的作用投入了较大的研究热情，原因不仅仅在于它是一种较为新颖的教学样例，更在于它所包含着的巨大的研究和实用价值。一方面，从理论角度看，眼动榜样样例研究为人们考察眼动如何影响认知提供了良好的范式，为进一步检验和丰富相关的理论假说提供了一定的契机。另一方面，从现实角度看，深入探讨眼动榜样样例可以为真实的课堂教学、专业培训甚至今后的教育改革提供科学的依据。如果有更为充足的证据表明眼动榜样样例能够较为稳定地提高教学效果，那么教育工作者或教学设计者只需借助一定的技术手段将专家的知觉和认知思维外显化便可达到理想的教学目的，这无疑有助于为教育系统节省大量的人力物力财力。当然，还需认识到，眼动榜样样例的作用还有待未来研究继续进行更深入的探索。

6.2 展望

除思考如何降低眼动榜样样例制作成本、考察影响眼动榜样样例教学效果的边界条件以及分析眼动榜样样例的作用机制外，后续研究可能还需要从如下多个方面进一步探索。第一，区分眼动榜样样例的知觉成分和认知成分的作用。通常情况下，眼动榜样样例中既包括专家外显的知觉过程(眼动轨迹)，也包括其外显的认知过程(言语解释)。那么，眼动榜样样例的作用到底是得益于知觉成分，还是认知成分，还是二者的结合？目前并不清楚。Mason 等(2015, 2016)认为言语解释在简单的知觉任务中是冗余的，可能会干扰被试的观察学习，被试不太容易同时注意专家的言语解释和眼动轨迹，因此在他们的研究中并没有向被试呈现专家对任务的言语解释，仅呈现样例本身及专家眼动轨迹，最终也发现了积极的结果。然而 van Marlen 等(2016)在其实验 1 中也没有呈现言语解释，但并未发现预期的积极作用。因此，眼动榜样样例中的知觉和认知成分是否存在相互作用还有待考证。

第二，区分人工样例与真实情景之间的差别。眼动榜样样例毕竟只是一种人工制作的教学样例，它和真实自然的情景是不同的(van Gog et al., 2009)。比如：专家在完成任务的过程中往往是非常迅速的，而眼动榜样样例中一般要求专家放慢速度以便于学习者能够跟上节奏，可能专家在放慢速度后的加工过程与不放慢时并不完全一致。另外，在正常的交流或教学情景中，情绪表达(Bayliss, Frischen, Fenske, & Tipper, 2007)、手势(Hostetter, 2011; Wang, Li, Mayer, & Liu, 2018)等都起着重要作用，而眼动榜样样例中并不包含这些成分。那么，从真实情景到人工样例之间的这些变化是否影响着学习者的注意和认知加工，目前也不清楚。

第三，考察专家眼动轨迹的预训练作用。如果学习者确实能够通过专家的眼动轨迹来进行知觉和认知加工，那么是否可以通过专家眼动轨迹本身提前训练学习者的眼动注视模式来影响随后的学习和问题解决？近期，在眼动预训练(eye movement pre-training)的研究(Skuballa, Fortunski, & Renkl, 2015)中，实验者要求被试正式学习之前跟随屏幕中的动态刺激(如：黑色圆点)进行规则的注视追随，而该动态刺激的移动轨迹与接下来的学习内容需要被注视的顺序是一致的，以此方式来提前训练被试的注视模式，结果发现眼动预训

练有效提高了新手的学习成绩。不过，用来预训练的刺激是研究者自行设计的，并非专家的注视点轨迹。若采用专家的眼动轨迹进行预训练也能达到积极的效果，这将不仅有利于证实眼动榜样样例中知觉成分的作用，同时也能简化眼动榜样样例(只需专家的眼动轨迹，没有样例本身及言语解释)，还能降低眼动榜样样例的制作成本。

第四，关注新手在特定领域中专长的发展(Gegenfurtner, Kok, van Geel, de Bruin, Jarodzka, et al., 2017)。以往关于眼动榜样样例的研究多从横向视角探讨其对教学效果的短时作用，不利于揭示眼动榜样样例是否具有长时的积极影响。未来研究可从纵向视角考察眼动榜样样例在新手专长发展上的作用特点。

第五，探讨眼动轨迹对合作学习的影响。认知心理学领域共享注视(shared gaze)的研究发现，向一对被试呈现彼此在合作任务中的眼动轨迹有利于二者进行良好的视觉搜索(Brennan, Chen, Dickinson, Neider, & Zelinsky, 2008)、空间定位(Neider, Chen, Dickinson, Brennan, & Zelinsky, 2010)和问题解决(Velichkovsky, 1995)。在教学过程中，合作学习是非常普遍的学习方式。共享学习者与学习者之间或者专家与学习者之间的眼动轨迹是否有助于合作教学，这也将是后续研究值得探讨的主题。

最后，采用认知神经技术挖掘眼动榜样样例的神经基础。随着教育神经科学(educational neuroscience)的兴起，功能性近红外光谱脑成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)等技术为分析教学的神经机制提供了重要手段(Brucker, Ehlis, Häußinger, Fallgatter, & Gerjets, 2015)。在眼动榜样样例的帮助下，新手能否实现与专家类似的脑区激活？哪些脑区的激活与教学效果的提高密切相关？这些都是未来研究可能需要考虑的问题。此外，专长的神经机制一直以来是研究者关注的重要问题(综述见：Gegenfurtner, Kok, van Geel, de Bruin, & Sorger, 2017)。研究表明，大脑可塑性(brain plasticity)与专长密切相关，专长能够导致脑区结构性的重塑(Amunts et al., 1997; Delon-Martin, Plailly, Fonlupt, Veyrac, & Royet, 2013)。例如：长期训练的体操运动员在左侧额下回(left inferior frontal gyrus)、双侧顶上和顶下小叶(bilateral inferior and superior parietal lobule)、左侧角回(left angular gyrus)及其它脑区的灰质密度要比非运动员更大，这些脑区的重塑表明运动员在对运动方向的估计、对运动速度的监控以及对周围物体的识别等方面存在优势(Huang, Lu, Song, & Wang, 2015)。那么，如果通过向新手学习者呈现眼动榜样样例来对其进行某项任务的训练，是否会有助于新手学习者与专家脑区类似的结构性重塑？这也有赖于认知神经科学的解答。

致谢：感谢李俊一、刘庆奇和杨秀娟在论文修改过程中的帮助。

参考文献

陈家刚. (2010). 认知学徒制二十年研究综述. *远程教育杂志, 28*(5), 97–104.

王福兴, 段朝辉, 周宗奎. (2013). 线索在多媒体学习中的作用. *心理科学进展, 21*(8), 1430–1440.

王福兴, 芦咏莉, 段朝辉, 周宗奎. (2013). 不同经验教师对学生课堂行为加工的眼动研究. *心理发展与教育, 29*(4), 391–399.

谢和平, 王福兴, 周宗奎, 吴鹏. (2016). 多媒体学习中线索效应的元分析. *心理学报, 48*(5), 540–555.

赵欢欢. (2013). *多媒体学习中图-文整合的经验效应: 基于眼动的研究*(硕士学位论文). 华中师范大学, 武汉.

Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping, 5*(3), 206–215.

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A., & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research, 70*(2), 181–214.

Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Bayliss, A. P., Frischen, A., Fenske, M. J., & Tipper, S. P. (2007). Affective evaluations of objects are influenced by observed gaze direction and emotional expression. *Cognition, 104*(3), 644–653.

Brennan, S. E., Chen, X., Dickinson, C. A., Neider, M. B., & Zelinsky, G. J. (2008). Coordinating cognition: The costs and benefits of shared gaze during collaborative search. *Cognition, 106*(3), 1465–1477.

Brucker, B., Ehlis, A. C., Häußinger, F. B., Fallgatter, A. J., & Gerjets, P. (2015). Watching corresponding gestures facilitates learning with animations by activating human mirror-neurons: An fNIRS study. *Learning and Instruction, 36*, 27–37.

Charness, N., Reingold, E. M., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). The perceptual aspect of skilled performance in chess: Evidence from eye movements. *Memory & Cognition, 29*(8), 1146–1152.

Chi, M. T. H. (2006). Laboratory methods for assessing experts' and novices' knowledge. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich, & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 167–184). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Collins, A., Brown, J. S., & Holum, A. (1991). Cognitive apprenticeship: Making thinking visible. *American Educator, 15*, 38–46.

Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453–494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

De Koning, B. B., & Jarodzka, H. (2017). Attention guidance strategies for supporting learning from dynamic visualizations. In R. Lowe & R. Ploetzner (Eds.), *Learning from dynamic visualizations: Innovations in research and practice* (pp. 255–278). Switzerland: Springer.

De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology, 21*(6), 731–746.

De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2009). Towards a framework for attention cueing in instructional animations: Guidelines for research and design. *Educational Psychology Review, 21*(2), 113–140.

Delon-Martin, C., Plailly, J., Fonlupt, P., Veyrac, A., & Royet, J. P. (2013). Perfumers' expertise induces structural reorganization in olfactory brain regions. *NeuroImage, 68*, 55–62.

Donovan, T., Manning, D. J., & Crawford, T. (2008). Performance changes in lung nodule detection following perceptual feedback of eye movements. In B. Sahiner & D. J. Manning (Eds.), *Proceedings of SPIE Medical Imaging 2008: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment* (pp. 6917-03). San Diego, CA: SPIE.

Donovan, T., Manning, D. J., Phillips, P. W., Higham, S., & Crawford, T. (2005). The effect of feedback on performance in a fracture detection task. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. San Diego, California, United States: SPIE.

Gegenfurtner, A., Kok, E. M., van Geel, K., de Bruin, A. B. H., & Sorger, B. (2017). Neural correlates of visual perceptual expertise: Evidence from cognitive neuroscience using functional neuroimaging. *Frontline Learning Research, 5*(3), 14–30.

Gegenfurtner, A., Kok, E., van Geel, K., de Bruin, A., Jarodzka, H., Szulewski, A., & van Merriënboer, J. J. G. (2017). The challenges of studying visual expertise in medical image diagnosis. *Medical Education, 51*(1), 97–104.

Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., Jarodzka, H., & Säljö, R. (2017). Effects of eye movement modeling examples on adaptive expertise in medical image diagnosis. *Computers & Education, 113*, 212–225.

Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review, 23*(4), 523–552.

Gegenfurtner, A., & Seppänen, M. (2013). Transfer of expertise: An eye tracking and think aloud study using dynamic medical visualizations. *Computers & Education, 63*, 393–403.

Grant, E. R., & Spivey, M. J. (2003). Eye movements and problem solving: Guiding attention guides thought. *Psychological Science, 14*(5), 462–466.

Haider, H., & Frensch, P. A. (1999). Eye movement during skill acquisition: More evidence for the information-reduction hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 25*(1), 172–190.

Hinds, P. J. (1999). The curse of expertise: The effects of expertise and debiasing methods on prediction of novice performance. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 5*(2), 205–221.

Hostetter, A. B. (2011). When do gestures communicate? A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 137*(2), 297–315.

Huang, R., Lu, M., Song, Z., & Wang, J. (2015). Long-term intensive training induced brain structural changes in world class gymnasts. *Brain Structure and Function, 220*(2), 625–644.

Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning. *Computers in Human Behavior, 32*, 47–53.

Jarodzka, H., Holmqvist, K., & Gruber, H. (2017). Eye tracking in educational science: Theoretical frameworks and research agendas. *Journal of Eye Movement Research, 10*(1), doi: 10.16910/jemr.10.1.3.

Jarodzka, H., Holmqvist, K., Nyström, M., Scheiter, K., Gerjets, P., & Eika, B. (2012). Conveying clinical reasoning based on visual observation via eye-movement modelling examples. *Instructional Science, 40*(5), 813–827.

Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., van Gog, T., & Dorr, M. (2010). How to convey perceptual skills by displaying experts' gaze data. In N. A. Taatgen & H. van Rijn (Eds.),

Proceedings of the 31st annual conference of the cognitive science society (pp. 2920–2925). Austin, TX: Cognitive Science Society.

Jarodzka, H., van Gog, T., Dorr, M., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a Model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction, 25*, 62–70.

Kok, E. M., & Jarodzka, H. (2017). Before your very eyes: The value and limitations of eye tracking in medical education. *Medical Education, 51*(1), 114–122.

Krupinski, E. A., Tillack, A. A., Richter, L., Henderson, J. T., Bhattacharyya, A. K., Scott, K. M., ... Weinstein, R. S. (2006). Eye-movement study and human performance using telepathology virtual slides: Implications for medical education and differences with experience. *Human Pathology, 37*(12), 1543–1556.

Kundel, H. L., Nodine, C. F., & Krupinski, E. A. (1990). Computer-displayed eye position as a visual aid to pulmonary nodule interpretation. *Investigative Radiology, 25*(8), 890–896.

Lin, L., & Atkinson, R. K. (2011). Using animations and visual cueing to support learning of scientific concepts and processes. *Computers & Education, 56*(3), 650–658.

Litchfield, D., Ball, L. J., Donovan, T., Manning, D. J., & Crawford, T. (2010). Viewing another person's eye movements improves identification of pulmonary nodules in chest x-ray inspection. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 16*(3), 251–262.

Mason, L., Pluchino, P., & Tornatora, M. C. (2015). Eye-movement modeling of integrative reading of an illustrated text: Effects on processing and learning. *Contemporary Educational Psychology, 41*, 172–187.

Mason, L., Pluchino, P., & Tornatora, M. C. (2016). Using eye-tracking technology as an indirect instruction tool to improve text and picture processing and learning. *British Journal of Educational Technology, 47*(6), 1083–1095.

Mason, L., Scheiter, K., & Tornatora, M. C. (2017). Using eye movements to model the sequence of text–picture processing for multimedia comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning, 33*(5), 443–460.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.

Nalanagula, D., Greenstein, J. S., & Gramopadhye, A. K. (2006). Evaluation of the effect of feedforward training displays of search strategy on visual search performance. *International Journal of Industrial Ergonomics, 36*(4), 289–300.

Neider, M. B., Chen, X., Dickinson, C. A., Brennan, S. E., & Zelinsky, G. J. (2010). Coordinating spatial referencing using shared gaze. *Psychonomic Bulletin & Review, 17*(5), 718–724.

O'Neill, E. C., Kong, Y. X. G., Connell, P. P., Ong, D. N., Haymes, S. A., Coote, M. A., & Crowston, J. G. (2001). Gaze behavior among experts and trainees during optic disc examination: Does how we look affect what we see? *Investigative Ophthalmology & Visual Science, 52*(7), 3976–3983.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*(3), 372–422.

Rayner, K. (2009). The 35th sir frederick bartlett lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), 1457–1506.

Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. *Psychological Science, 12*(1), 48–55.

Renkl, A., & Scheiter, K. (2017). Studying visual displays: How to instructionally support learning. *Educational Psychology Review, 29*(3), 599–621.

Sadasivan, S., Greenstein, J. S., Gramopadhye, A. K., & Duchowski, A. T. (2005). Use of eye movements as feedforward training for a synthetic aircraft inspection task. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2005* (pp. 141–149). New York, NY: ACM Press.

Salmerón, L., Naumann, J., García, V., & Fajardo, I. (2017). Scanning and deep processing of information in hypertext: An eye tracking and cued retrospective think‐aloud study. *Journal of Computer Assisted Learning, 33*(3), 222–233.

Scheiter, K., Schubert, C., & Schüler, A. (2018). Self‐regulated learning from illustrated text: Eye movement modelling to support use and regulation of cognitive processes during learning from multimedia. *British Journal of Educational Psychology, 88*(1), 80–94.

Seppänen, M., & Gegenfurtner, A. (2012). Seeing through a teacher's eyes improves students' imaging interpretation. *Medical Education, 46*(11), 1113–1114.

Skuballa, I. T., Fortunski, C., & Renkl, A. (2015). An eye movement pre-training fosters the comprehension of processes and functions in technical systems. *Frontiers in Psychology, 6*, 598.

Stein, R., & Brennan, S. E. (2004). Another person's eye gaze as a cue in solving programming problems. *Proceedings of ICMI 2004, Sixth International Conference on Multimodal Interfaces* (pp. 9–15). New York, NY: ACM Press.

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*(3), 251–296.

Thomas, L. E., & Lleras, A. (2007). Moving eyes and moving thought: On the spatial compatibility between eye movements and cognition. *Psychonomic Bulletin & Review, 14*(4), 663–668.

van der Gijp, A., Ravesloot, C. J., Jarodzka, H., van der Schaaf, M. F., van der Schaaf, I. C., van Schaik, J. P. J., & ten Cate, T. J. (2017). How visual search relates to visual diagnostic performance: A narrative systematic review of eye-tracking research in radiology. *Advances in Health Sciences Education, 22*(3), 765–787.

van Gog, T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Paas, F. (2009). Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior, 25*(3), 785–791.

van Marlen, T., Van Wermeskerken, M., Jarodzka, H., & van Gog, T. (2016). Showing a model's eye movements in examples does not improve learning of problem-solving tasks. *Computers in Human Behavior, 65*, 448–459.

van Meeuwen, L. W., Jarodzka, H., Brand-Gruwel, S., Kirschner, P. A., de Bock, J. J. P. R., & van Merriënboer, J. J. G. (2014). Identification of effective visual problem solving strategies in a complex visual domain. *Learning and Instruction, 32*, 10–21.

van Merriënboer, J. J. G. (2013). Perspectives on problem solving and instruction. *Computers & Education, 64*, 153–160.

van Noord, S. (2016). *Effects of eye movements in modelling examples with ambiguous verbal explanations on visual attention and learning* (Unpublished bachelor's thesis). Utrecht University, Netherlands.

Velichkovsky, B. M. (1995). Communicating attention: Gaze position transfer in cooperative problem solving. *Pragmatics & Cognition, 3*(2), 199–223.

Vivianni, P. (1990). Eye movements in visual search: Cognitive, perceptual and motor control aspects. In E. Kowler (Ed.), *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* (pp. 353–393). Amsterdam: Elsevier.

Vogt, S., & Magnussen, S. (2007). Expertise in pictorial perception: Eye-movement patterns and visual memory in artists and laymen. *Perception, 36*(1), 91–100.

Wang, F., Li, W., Mayer, R. E., & Liu, H. (2018). Animated pedagogical agents as aids in multimedia learning: Effects on eye-fixations during learning and learning outcomes. *Journal of Educational Psychology, 110*(2), 250–268.

Attention guidance and cognitive processing: The educational effects of eye movement modeling examples

XIE Heping; PENG Ji; ZHOU Zongkui

(*Key Laboratory of Adolescent Cyberpsychology and Behavior (CCNU), Ministry of Education; School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan* 430079, *China*)

Abstract: For the past decades, researchers have paid much attention to exploring how cognitive processes influence eye movements. Recently, they have begun to directly look into the reciprocal relationship and test how eye movements might influence cognitive processes by using eye movement modeling examples (EMME). As a new kind of teaching examples, EMME proved to be effective to guide visual attention. It could facilitate the selection, organization, and integration of information, as well as improve the scanpath similarity. However, research examining the effects of EMME on learning performance reported mixed results. The information-reduction hypothesis, cognitive theory of multimedia learning, and cognitive apprenticeship have been used as theoretical foundations for predicting or explaining the positive effects of EMME. Future studies are highly needed to explore the effects of EMME from the perspectives of boundary conditions, functional mechanism, eye-movement pre-training, expertise development, cooperative learning, and the neural basis.

Key words: eye movement modeling examples; attention guidance; cognitive processing; education